



TUGAS AKHIR – TM141585

**PENGARUH TEMPERATUR *AUSTEMPERING*
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO BAJA AISI 51B60 DAN BAJA AISI 9260
BEKAS**

ADYAN RIZKYA AKBAR
NRP 2115105011

Dosen Pembimbing:
Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT – TM141585

***EFFECT OF AUSTEMPERING TEMPERATURE ON
MECHANICAL PROPERTIES AND
MICROSTRUCTURE OF AISI 51B60 AND AISI 9260
SCRAP-STEELS***

ADYAN RIZKYA AKBAR
NRP. 2115105011

Advisor Lecturer
Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR
AUSTEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIK
DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 51B60 DAN
BAJA AISI 9260 BEKAS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :

ADYAN RIZKYA AKBAR

NRP. 2115 105 011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Suwarno, ST, MSc, PhD.
NIP. 198005202005011003
2. Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA
NIP. 196308151989032001
3. Indra Sidharta, ST, MSc.
NIP. 198006192006041004
4. Ir. Hari Subiyanto, MSc.
NIP. 196006231988031002



**SURABAYA
JANUARI, 2018**

STUDI PENGARUH TEMPERATUR *AUSTEMPERING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 51B60 DAN BAJA AISI 9260 BEKAS

Nama Mahasiswa : Adyan Rizkya Akbar
NRP : 2115105011
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Suwarno S.T., M.Sc., Ph.D

Abstrak

Pengolahan baja bekas sebagai produk yang bernilai ekonomis tinggi merupakan salah satu solusi untuk menanggulangi melimpahnya limbah baja bekas yang ada di lingkungan. Salah satunya adalah pembuatan pisau menggunakan baja pegas daun bekas yang dilakukan oleh pande besi. Karakteristik material seperti; kekerasan, ketangguhan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap korosi sangat menentukan kualitas dari pisau tersebut. Proses hardening yang dilakukan oleh pande besi pada umumnya adalah *quench* dengan media air, sehingga didapatkan hasil kekerasan material yang sangat tinggi dan mengakibatkan material menjadi getas. Selain perlakuan panas komposisi kimia juga mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro dari material.

Untuk meningkatkan ketangguhan maka perlakuan panas *austempering* akan dilakukan pada baja AISI 51B60 (baja paduan kromium) dan baja AISI 9260 (baja paduan silikon). Proses *heating* dilakukan dengan temperatur austenisasi 840°C dan waktu tahan 1 jam. Proses austempering kemudian dilakukan didalam salbath dengan campuran Sodium Nitrit (NaNO_2), Potasssium Nitrat (KNO_3), dan Sodium Nitrat (NaNO_3), dengan variasi temperatur 275°C, 300°C, 325°C, 350°C, dan 375°C ditahan dengan waktu 3 jam kemudian dilakukan pendinginan dengan media udara. Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro, dan pengujian impak.

Dari penelitian didapatkan hasil bahwa semakin tinggi temperatur *austempering* rerata kekerasan menurun sementara kekuatan impak meningkat. Nilai kekerasan dan kekuatan impak tertinggi yaitu 54,6 HRC dan 0,637432 J/mm² di temperatur *austempering* 275°C dan 375°C untuk baja AISI 51B60, dan 53,2 HRC dan 0,392266 J/mm² di temperatur *austempering* 275°C dan 375°C untuk baja AISI 9260. Pada proses *austempering* dengan temperatur dan waktu tahan yang sama nilai kekuatan impak material AISI 51B60 lebih besar dibandingkan dengan material AISI 9260 hal ini disebabkan oleh perbedaan presipitasi karbida besi yang terjadi pada saat proses *austempering*, material 51B60 lebih mudah dalam membentuk karbida besi dibandingkan dengan material 9260. Struktur mikro baja pegas daun yang dihasilkan dari perlakuan panas *austempering* terhadap material AISI 51B60 dan AISI 9260 yaitu *lower bainite* dan *ferrite* pada temperatur 275°C , 300°C, dan 325°C sementara pada temperatur 350°C dan 375°C terbentuk *upper bainite* dan *ferrite*.

Kata Kunci : Austempering, AISI 51B60, AISI 9260, baja pegas

**EFFECT OF AUSTEMPERING TEMPERATURE ON
MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE
OF AISI 51B60 AND AISI 9260 SCRAP-STEELS**

Name : Adyan Rizkya Akbar
NRP : 2115105011
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisory Lecture : Suwarno, S.T.,M.Sc.,Ph.D

Abstract

Scrap steel treatment as a high economic value product is one of solution to overcome the overflow of scrap steel in the environmental. Such as making a knife using scrap of leaf spring steels by the blacksmith. The quality of the knife is strongly determined from material characteristics such as hardness, toughness, wear-resistance, and corrosion-resistance. Generally, the hardening process performed by the blacksmith is quench with water, so the result of the hardness material is very high and it caused the material become brittle. Besides the heating treatment, the chemical composition also affected to mechanical properties and microstructure from the material

For upgrading the toughness then austempering will be done to the AISI 51B60's steel (chromium alloy steel) and the AISI 9290's steel (silicon alloy steel). Heating process used by AISI 51B60 and AISI 9260 specimen, with heating in the furnace until the austen's temperature 840°C and will be hold in one hour. Next, the Austempering's process was build in the salbath with Sodium Nitrite (NaNO_2), Potasssium Nitrate (KNO_3), and Sodium Nitrate (NaNO_3), the temperatur variant that has been hold to the experiment every three hours for the temperature variant was changed repeatedly there are 275 °C, 300 °C, 325 °C, 350 °C and 375 °C, and then it will be cooling by air. The testing in this experiment are hardness test, impact test, and microstructure test.

The result from the research is if the austempering's temperature going to higher it can make the hardness down while

the impact strength get higher. The maximum hardness and impact strength is 54,4 HRC and 0,637432 J/mm² for the AISI 51B60 steel, and 53,2 HRC and 0,392266 J/mm² for the AISI 51B60 steel. In austempering process with the same temperature and holding time, the impact strength of AISI 51B60 is bigger than the AISI 9260. It caused by the differences of cementite precipitation that happen when austempering process, AISI 51B60 is easier to build cementite than AISI 9260. The Micro-structure of AISI 51B60 and the AISI 9260 results from the austempering process is lower bainite and ferrite at 275°C, 300°C, and 325°C while upper bainite and ferrite at 350°and 375°C.

Keywords: austempering, AISI 51B60, AISI 9260, Leaf spring steel

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah yang telah memberikan limpahan rahmat dan kasih sayang-Nya, karena ijin-Nya lah penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan tanpa adanya halangan yang cukup berarti. Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak dapat dipungkiri ada begitu banyak dukungan dan bantuan yang diberikan dari berbagai pihak baik secara moril maupun materi. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Teruntuk bapak dan ibuku tercinta terimakasih telah memberikan kesempatan untukku terlahir di dunia, membesarkanku dengan cinta kasih, dan mendidikku dengan cara yang sempurna.
2. Bapak Suwarno S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktu dan tenaga ditengah kesibukan, serta memberi motivasi dalam mengerjakan tugas akhir dan ilmu yang tak ternilai harganya.
3. Ibu Kis Agustin, Bapak Hari Subiyanto, dan Bapak Indra Sidharta, selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk menguji tugas akhir ini.
4. Teruntuk Meirina Indah Permatasari terimakasih telah setia mendengar keluh kesah, memberi semangat ketika ragu, membagi keceriaan ketika sedih, sabar menunggu hingga selesai studi, dan membantu dalam penulisan tugas akhir ini.
5. Untuk partner tugas akhir, Hari Kusuma, yang telah membantu, mengingatkan, dan berbagi ilmu dalam urusan penyelesaian tugas akhir ini.
6. Rekan-rekan diskusi di warkop; Dio, Edi, Ook, Gaplok, Anan, Becol, Ari, mas Adi, dll terimakasih untuk obrolan tidak bergunanya setidaknya dapat sejenak melupakan kepenatan.
7. Pak Mantri, pak Gatot, pak Endang, dan mas Agus selaku karyawan Lab. Metalurgi dan Teknik Cor yang selalu

membantu penulis dalam proses pengerjaan hingga pengujian tugas akhir ini.

8. Rekan-rekan lintas jalur lima semester terimakasih atas kesetiaanya kecuali yang satu itu.
9. Teman-teman lintas jalur 2015, terimakasih atas persahabatannya.
10. Mas Rifki dan Bang Taqi selaku rekan kos terimakasih atas nasihat, dukungan, dan sharing ilmunya.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan terdapat kekurangan. Penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan dimasa depan. Semoga tugas akhir ini bisa bermanfaat untuk kita semua. Amien.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak	iv
Abstract	vi
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baja.....	5
2.1.1 Baja Karbon	5
2.1.2 Baja Paduan.....	6
2.2 Baja Pegas	6
2.2.1 Baja Pegas Daun	6
2.2.2 I-T Diagram Baja Pegas Daun (AISI 51B60 dan AISI 9260).....	8
2.3 Perlakuan Panas.....	9
2.3.1 Proses <i>Quenching</i>	10
2.3.2 Proses Austempering.....	15
2.4 <i>Hardening</i>	10
2.5 Kekerasan	17
2.6 Ketangguhan.....	19
2.7 Uji Statistik.....	20
BAB III METODOLOGI	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.2 Material	24

3.3 Proses Perlakuan Panas <i>Austempering</i>	25
3.4 Pengujian	28
3.4.1 Pengujian Kekerasan	28
3.4.2 Pengamatan Struktur Mikro	29
3.4.3 Pengujian Impak	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Komposisi Kimia	33
4.2 Pengujian Kekerasan	34
4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan	35
4.2.2 Analisis dan Pembahasan Pengujian Kekerasan	36
4.3 Pengujian Impak	41
4.3.1 Data Hasil Pengujian Impak	42
4.3.2 Analisis dan Pembahasan Pengujian Impak	44
4.4 Pengamatan Struktur Mikro	48
4.4.1 Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro	48
4.4.2 Analisis dan Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baja Pegas Daun.....	7
Gambar 2.2 Diagram IT 51B60.....	8
Gambar 2.3 Diagram IT 9260	9
Gambar 2.4 Diagram CCR baja AISI 51B6	11
Gambar 2.5 Diagram Fasa Fe – Fe ₃ C	12
Gambar 2.6 Daerah temperatur <i>quenching</i>	13
Gambar 2.7 Perubahan struktur kristal dari FCC menjadi BCC	14
Gambar 2.8 Struktur martensit pada baja AISI 4340	14
Gambar 2.9 I-T diagram dengan kurva proses <i>Austempering</i>	15
Gambar 2.10 Tahapan pembentukan bainit atas dan bainit bawah.....	14
Gambar 2.11 Skema pengujian kekerasan.....	19
Gambar 2.12 Pengujian impak metode <i>charpy</i>	19
Gambar 2.13 Spesimen uji impak	20
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	24
Gambar 3.2 Baja AISI 51B60 dan Baja AISI 9260.....	25
Gambar 3.3 Skema perlakuan panas untuk <i>austempering</i>	26
Gambar 3.4 Dapur pemanas material (<i>Furnace</i>).....	27
Gambar 3.5 Dapur pemanas (<i>Furnace</i>) <i>salt bath</i> untuk austempering	27
Gambar 3.6 Alat uji kekerasan <i>Rockwell C</i>	28
Gambar 3.7 Dimensi dan lokasi indentasi spesimen uji	29
Gambar 3.8 Mesin <i>grinding</i> , <i>polishing</i> dan mikroskop optik.....	30
Gambar 3.9 Alat uji impak	31
Gambar 3.10 Dimensi standar uji impak JIS Z 2202	32
Gambar 4.1 Spesimen dan lokasi indentasi di permukaan	35
Gambar 4.2 Grafik kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi AISI 51B60.....	37
Gambar 4.3 Grafik kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi AISI 9260.....	37
Gambar 4.4 Grafik temperatur <i>austempering</i> terhadap rerata kekerasan AISI 51B60 dan AISI 9260.....	39

Gambar 4.5 Spesimen uji impak.....	41
Gambar 4.6 Dimensi uji impak.....	42
Gambar 4.7 Grafik temeperatur <i>austempering</i> terhadap kekuatan impak	52
Gambar 4.8 Lokasi pengamatan struktur mikro (garis putus-putus merah).....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja Pegas Daun	7
Tabel 2.2 Temperatur austenisasi untuk baja AISI 51B60 dan baja AISI 9260.....	9
Tabel 2.3 Skala Rockwell Hardness	18
Tabel 3.1 Hasil pengujian Komposisi Kimia	30
Tabel 4.1 Pengujian Komposisi Kimia vs Standar Baja AISI 51B60.....	33
Tabel 4.2 Pengujian Komposisi Kimia vs Standar Baja AISI 9260	34
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Permukaan Baja AISI 51B60	35
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Permukaan Baja AISI 9260.....	36
Tabel 4.5 Kisaran dan Rerata Kekerasan AISI 51B60	38
Tabel 4.6 Kisaran dan Rerata Kekerasan AISI 9260.....	38
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Impak Material AISI 51B60	43
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Impak Material AISI 9260	43
Tabel 4.9 Pola Patahan Hasil Pengujian Impak Material AISI 51B60	45
Tabel 4.10 Pola Patahan Hasil Pengujian Impak Material AISI 9260.....	46
Tabel 4.11 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Penampang Spesimen AISI 51B60	48
Tabel 4.12 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Penampang Spesimen AISI 9260	50

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengolahan baja bekas sebagai produk yang bernilai ekonomis tinggi merupakan salah satu solusi untuk menanggulangi melimpahnya limbah baja bekas yang ada di lingkungan. Selain mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan hal tersebut juga menjadi nilai tambah bagi sebagian orang untuk menghasilkan produk yang dapat dijual. Industri rumahan pembuat pisau dapur merupakan salah satu wujud nyata dari usaha pengolahan baja bekas yang sering kita jumpai di beberapa daerah. Pemilihan material yang dilakukan oleh pande besi biasanya berdasarkan pada tebal plat baja saja tanpa didasari pertimbangan komposisi kimia. Proses pembuatan pisau dapur ini dikerjakan secara konvensional oleh seorang pandai besi dengan peralatan seadanya, material yang akan dibuat sebagai pisau akan dipanaskan pada sebuah dapur pemanas kemudian ditempa dan digerinda dengan bentuk geometri dan ukuran yang telah ditentukan oleh pandai besi atau sesuai pesanan konsumen.

Komposisi kimia dari baja sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik, struktur mikro, dan perlakuan panas yang dilakukan. Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas dari pisau dapur yaitu kekerasan, ketangguhan, ketahanan aus dan sifat tahan korosi. Faktor yang sangat berpengaruh terhadap parameter-parameter tersebut diantaranya adalah pemilihan material dan proses perlakuan panasnya. Material yang biasa digunakan oleh pandai besi untuk pembuatan pisau dapur adalah baja pegas daun bekas didapat dari pengepul barang bekas, setelah pisau dapur selesai ditempa dan digerinda kemudian dilakukan hardening (sepuh) dengan media *quench* air. Terdapat masalah pada pisau dapur yang telah disepuh oleh pandai besi, karena kekerasan yang dihasilkan menjadi sangat tinggi, sehingga pisau dapur akan retak atau

bahkan patah ketika terkena beban kejut. Untuk meningkatkan ketangguhan maka perlakuan panas *austempering* akan dilakukan pada baja AISI 51B60 dan AISI 9260.

Perlakuan panas *austempering* dilakukan pada baja AISI 51B60 dan AISI 9260 untuk mengetahui pengaruh dari komposisi kimia terhadap sifat mekanik dan struktur mikro yang didapat. Baja AISI 51B60 merupakan baja paduan rendah kromium dengan kadar karbon sekitar 0,6 %, sedangkan baja AISI 9260 merupakan baja paduan rendah silikon dengan kadar karbon sekitar 0,6%.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh temperatur *austempering* terhadap nilai kekerasan, kekuatan impak, dan struktur mikro pada baja AISI 51B60 dan AISI 9260.

1.3 Batasan Masalah

1. Tidak terdapat cacat dalam maupun retak spesimen uji.
2. Waktu pemindahan spesimen uji dari dapur pemanas ke media pendingin setiap tahapan proses adalah sama untuk setiap spesimen uji.
3. Kondisi peralatan yang digunakan saat pengujian dan pengambilan data telah terkalibrasi.
4. Tidak ada proses penempaan material menjadi pisau.

1.4 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur *austempering* terhadap kekerasan pada baja AISI 51B60 dan AISI 9260.
2. Mengetahui pengaruh variasi temperatur *austempering* terhadap kekuatan impak pada baja AISI 51B60 dan AISI 9260.
3. Mengetahui pengaruh variasi temperatur *austempering* terhadap struktur mikro pada baja AISI 51B60 dan AISI 9260.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan pertimbangan pemilihan perlakuan panas dalam usaha mendapatkan material dengan kombinasi nilai kekerasan dan ketangguhan yang paling baik pada kondisi kerja pisau dapur.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut :

1. Bab 1 Pendahuluan
Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan penelitian.
2. Bab 2 Tinjauan Pustaka
Bab ini dibagi menjadi dua bagian yaitu kajian teori, Kajian teori berisi tentang teori penunjang dalam melakukan analisis hasil penelitian.
3. Bab 3 Metodologi Penelitian
Bab ini berisi tentang uraian dan urutan proses pengerjaan penelitian dari awal sampai akhir, serta peralatan dan bahan penelitian yang digunakan.
4. Bab 4 Analisis Data dan Pembahasan
Bab ini berisi data hasil penelitian yang disajikan dalam bentuk grafik dan tabel sebagai sarana untuk menganalisis fenomena yang terjadi.
5. Bab 5 Kesimpulan dan Saran
Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja adalah paduan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) yang memiliki kandungan karbon kurang dari 2%. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (Mn), krom (Cr) dan silikon (Si). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis sifat baja dapat dikombinasikan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*), namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Berdasarkan komposisi kimianya, baja diklasifikasikan menjadi 2 bagian utama. Baja dengan unsur paduan karbon saja diklasifikasikan sebagai baja karbon (*plain carbon steel*). Baja dengan unsur paduan lebih dari satu jenis disebut dengan baja paduan (*alloy steel*).

2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah baja dengan paduan utama karbon dan sedikit unsur yang lain. Berdasarkan jumlah kadar karbon yang menyusun, Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah dengan jumlah kadar karbon maksimal 0,25 % , baja karbon menengah dengan jumlah kadar karbon 0,25% - 0,6% dan baja karbon tinggi dengan jumlah kadar karbon lebih dari 0.6% [1]. Baja karbon rendah memiliki sifat mekanik paling dominan yaitu keuletan, baja karbon rendah memiliki sifat mampu mesin dan mampu las yang cukup baik. Baja karbon menengah memiliki sifat mekanik kekuatan dan keuletan yang seimbang, serta ketahanan aus yang baik, baja karbon menengah dapat dilakukan proses austenisasi, *quenching*, dan *tempering* untuk meningkatkan sifat mekanik baja. Baja karbon tinggi memiliki sifat mekanik kekuatan dan kekerasan yang paling baik, dan sedikit keuletan.

2.1.2 Baja Paduan

Baja paduan adalah baja dengan unsur paduan lebih dari satu jenis yang ditambahkan, untuk memodifikasi sifat – sifat mekanik dari baja tersebut. Tujuan dilakukan penambahan unsur paduan antara lain menaikkan *hardenability*, meningkatkan ketangguhan, meningkatkan ketahanan aus dan meningkatkan ketahanan korosi. Baja paduan diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan jumlah kadar penyusun paduan. Pada baja paduan rendah (*low alloy steel*) total unsur paduannya antara 1 % - 4 %, sedangkan baja paduan tinggi (*high alloy steel*) total unsur paduannya lebih dari 10 % [1].

2.2 Baja Pegas

Baja pegas adalah baja karbon tinggi yang biasa digunakan oleh pabrik pembuat pegas dan pembuat komponen-komponen kendaraan yang digunakan untuk menerima beban statik dan dinamik [2]. Pembuatan baja pegas harus melewati berapa proses, salah satunya adalah proses *heat treatment*. Proses *heat treatment* dilakukan untuk memberikan sifat mekanik yang diinginkan seperti kekuatan tarik, ketangguhan, keuletan dan kekerasan untuk dijadikan baja pegas.

Macam-macam jenis pegas dapat dibedakan dari bentuknya, berikut adalah macam-macam jenis pegas: pegas daun, pegas *helix*, pegas coil, pegas spiral, pegas *torsion bar*, dan pegas cakram. Masing-masing pegas memiliki sifat mekanik yang telah disesuaikan dengan kondisi kerja yang akan diterapkan pada pegas tersebut.

2.2.1 Baja Pegas Daun

Baja pegas adalah baja karbon tinggi yang biasa digunakan oleh pabrik pembuat pegas dan pembuat komponen-komponen kendaraan yang digunakan untuk menerima beban statik dan dinamik [2]. Pembuatan baja pegas harus melewati berapa proses, salah satunya adalah proses *heat treatment*. Proses *heat treatment* dilakukan untuk memberikan sifat mekanik yang

diinginkan seperti kekuatan tarik, ketangguhan, keuletan dan kekerasan untuk dijadikan baja pegas.



Gambar 2.1 Baja pegas daun [2]

Baja pegas-daun AISI 51B60 dan AISI 9260 memiliki kandungan karbon antara 0,56% sampai 0,64% dan harga kekerasan *rockwell* antara 58 HRC sampai dari 63 HRC ketika di *quenching*. Komposisi kimia dari baja pegas-daun AISI 51B60 dan AISI 9260 dapat dilihat pada tabel 2.1.

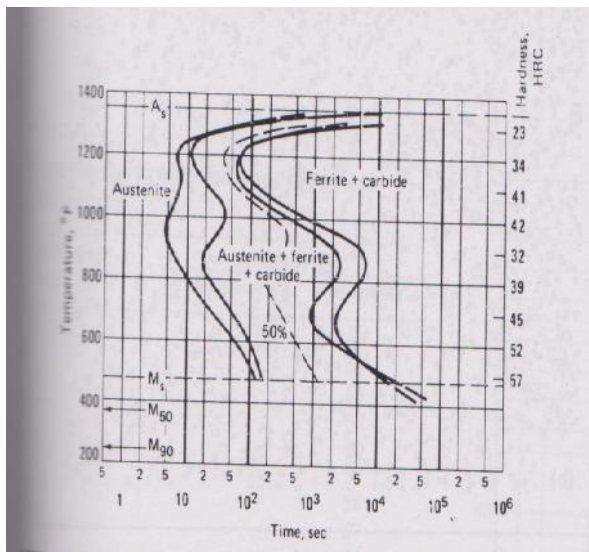
Tabel 2.1 Komposisi kimia baja pegas daun [9]

Designa tion of grade	CHEMICAL RANGES AND LIMITS, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	B
AISI 1075	0.70 — 0.80	0.15 — 0.35	0.40 — 0.70	≤ 0.04	≤ 0.05	—	—	—	—
AISI 1078	0.72 — 0.85	0.15 — 0.35	0.30 — 0.60	≤ 0.04	≤ 0.05	—	—	—	—
AISI 4161	0.56 — 0.64	0.15 — 0.35	0.75 — 1.00	≤ 0.035	≤ 0.04	0.70 — 0.90	0.25 — 0.35	—	—
AISI 5155	0.51 — 0.59	0.15 — 0.35	0.70 — 0.90	≤ 0.035	≤ 0.04	0.70 — 0.90	—	—	—
AISI 5160	0.56 — 0.64	0.15 — 0.35	0.75 — 1.00	≤ 0.035	≤ 0.04	0.70 — 0.90	—	—	—
AISI 51B60	0.56 — 0.64	0.15 — 0.35	0.75 — 1.00	≤ 0.035	≤ 0.04	0.70 — 0.90	—	—	0.0005 — 0.003
AISI 6150	0.48 — 0.53	0.15 — 0.35	0.70 — 0.90	≤ 0.035	≤ 0.04	0.80 — 1.10	—	0.15 min	—
AISI 9254	0.51 — 0.59	1.20 — 1.60	0.60 — 0.80	≤ 0.035	≤ 0.04	0.60 — 0.80	—	—	—

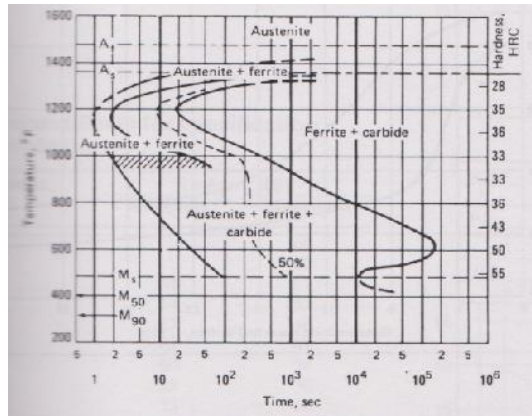
AISI 9260	0.56 — 0.64	1.80 — 2.20	0.75 — 1.00	≤ 0.035	≤ 0.04	—	—	—	—
--------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------	-----------	---	---	---	---

2.2.2 I-T Diagram

Diagram Transformasi *Isothermal* atau I-T diagram adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara perubahan fasa yang terjadi pada baja saat proses pendinginan terhadap temperatur dan waktu [3]. Gambar 2.2 dan gambar 2.3 merupakan I-T diagram dari baja pegas-daun (AISI 51B60 dan AISI 9260). Berdasarkan *standard* [6], temperatur austenisasi baja pegas-daun (AISI 51B60 dan AISI 9260) adalah 800-845 °C dan 815-900 °C (tabel 2.2). Temperatur M_s (*martensite start*) baja pegas daun (AISI 51B60 dan AISI 9260) adalah 262°C dan 267°C. [6]. Secara kuantitatif, temperatur M_s dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: $M_s(^{\circ}\text{C}) = 512 - 453\text{C} - 16.9\text{Ni} + 15\text{Cr} - 9.5\text{Mo} + 217(\text{C})^2 - 71.5(\text{C})(\text{Mn}) - 67.6(\text{C})(\text{Cr})$ [6].



Gambar 2.2 Diagram IT pada baja AISI 51B60 [7]



Gambar 2.3 Diagram IT pada baja AISI 9260 [7]

Tabel 2.2 Temperatur austenisasi untuk baja AISI 51B60 dan baja AISI 9260 [6]

Steel	Temperature	
	°C	°F
51B60	800-845	1475-1550
9260	815-900	1500-1650

2.3 Perlakuan Panas

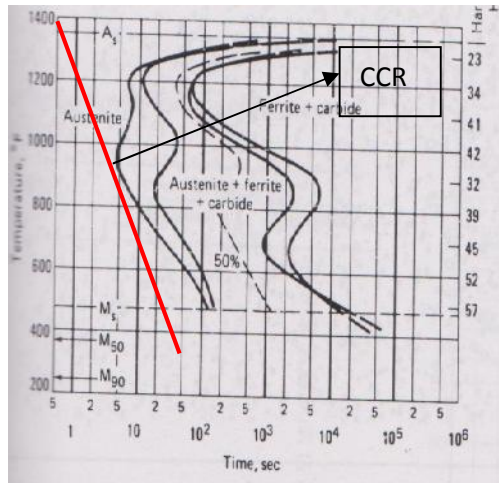
Proses perlakuan panas dapat didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dalam waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat mekanik tertentu [8]. Langkah pertama dalam setiap proses laku panas adalah memanaskan pada temperatur tertentu kemudian menahannya beberapa saat pada temperatur tersebut, kemudian mendinginkannya dengan laju tertentu. Selama proses pemanasan dan pendinginan ini akan terjadi perubahan srtuktur mikro, dapat berupa perubahan fasa dan/atau perubahan bentuk/ukuran butir kristalnya [8].

Proses perlakuan panas dapat dibedakan menjadi dua, pertama yakni proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur/fasa yang ekuilibrium, seperti *annealing*, *normalizing*, dan *spherodizing*, kedua yaitu proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur/fasa *non*-ekuilibrium, seperti *quenching*, *martempering*, dan *austempering*. Perbedaan kedua perlakuan panas tersebut, secara proses, adalah tinggi temperatur pemanasan, lama temperatur penahanan (*holding time*), dan kecepatan pendinginannya dari logam [5]. Sifat logam yang dihasilkan dari struktur/fasa ekuilibrium adalah ketangguhan dan keuletan yang tinggi, sedangkan sifat logam yang dihasilkan dari struktur/fasa *non*-ekuilibrium adalah kekerasan dan kekuatan yang tinggi, namun keuletan rendah.

2.3.1 Proses *Quenching*

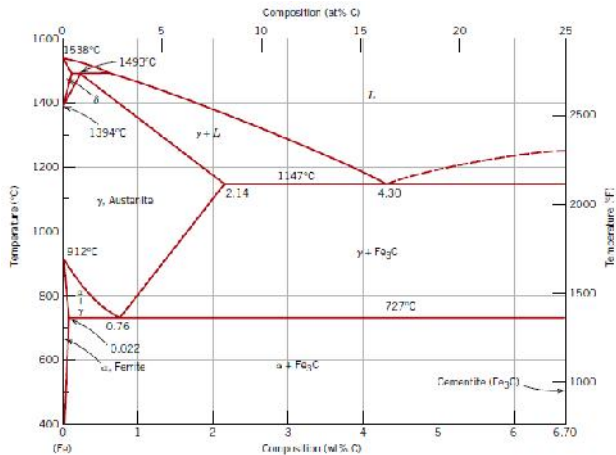
Seperti disebutkan sebelumnya bahwa kekerasan sangat tergantung pada komposisi kimianya terutama kadar karbonnya. Pada baja dengan kadar karbon rendah kenaikan kekerasan yang diperoleh setelah proses *hardening* tidak berarti karena laju pendinginan kritisnya sulit terpenuhi, sehingga proses *hardening* hanya dilakukan pada baja dengan kadar karbon sedang dan tinggi.

Quenching adalah perlakuan panas dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan dalam suatu media pendinginan seperti air, minyak, atau *salt bath* untuk memperoleh sifat mekanik yang lebih keras [4]. Proses *quenching* dimulai dengan memanaskan baja hingga temperatur *austenisasi* kemudian ditahan selama beberapa waktu untuk mendapatkan fase yang homogen yaitu *austenite*. Baja dengan fase *austenite* tersebut didinginkan secara cepat melalui pencelupan ke media tertentu seperti air atau oli.



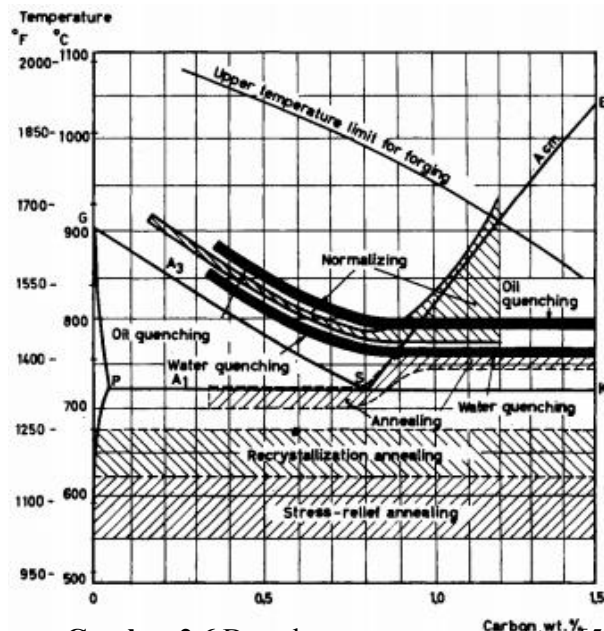
Gambar 2.4 CCR baja AISI 51B60 [7]

Dapat dilihat pada gambar 2.4, laju pendinginan harus mencapai laju pendinginan kritis (CCR) untuk memperoleh struktur yang sepenuhnya *martensite* [3]. Laju pendinginan yang kurang dari CCR akan mengakibatkan adanya sebagian *austenite* yang tidak bertransformasi menjadi *martensite* tetapi menjadi struktur lain, sehingga kekerasan maksimum tidak akan tercapai. Fase *martensite* tidak terdapat pada diagram Fe-Fe₃C (gambar 2.5) karena *martensite* merupakan fase yang metastabil atau akan bertransformasi menjadi fase lain ketika diberi energi. Hal ini disebabkan oleh pembentukan fase *martensite* yang tidak melalui mekanisme difusi [10].



Gambar 2.5 Diagram Fasa Fe – Fe₃C [4]

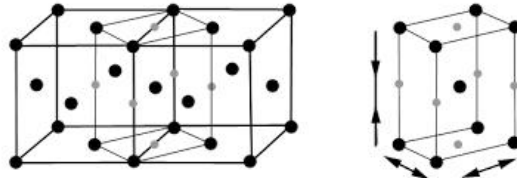
Daerah temperatur *quenching* dapat dilihat pada gambar 2.6. Dari gambar 2.6 dijelaskan bahwa untuk baja karbon rendah ($\% C \leq 0,25\%$) dilakukan pendinginan dengan air, baja karbon sedang ($0,25\% \leq \%C \leq 0,6\%$) dan baja karbon tinggi ($0,6\% \leq \%C \leq 2\%$) menggunakan oli (*oil*) sebagai media pendingin [5]. Baja AISI 51B60 dan baja AISI 9260 merupakan baja karbon sedang sehingga digunakan oli sebagai media pendingin.



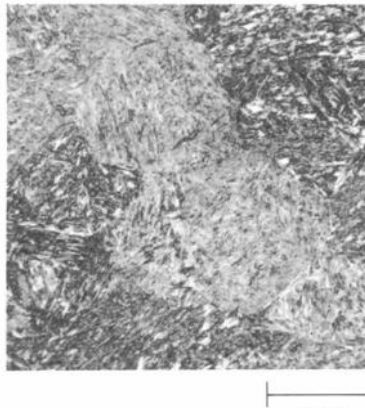
Gambar 2.6 Daerah temperatur *quenching* [5]

Bila austenit didinginkan secara cepat dan dapat mencapai temperatur M_s sebelum menjadi struktur lain maka pada saat itu mulai terbentuk martensit. Pada temperatur yang sangat rendah ini austenite mengalami *driving force* yang sangat besar untuk merubah kristal *FCC* (*face centered cubic*) menjadi *BCC* (*body centered cubic*), tetapi karena didalamnya masih terdapat banyak karbon (yang tadinya terlarut dalam austenite dan masih belum sempat keluar) dan karbon ini sudah tidak lagi dapat berdifusi keluar (karena temperatur sudah terlalu rendah untuk dapat berdifusi) maka struktur *BCC* tidak tercapai, salah satu sel rusuk satuannya lebih panjang daripada yang lain, ia menjadi *BCT* (*body central tetragonal*) [8]. Struktur *BCT* (gambar 2.7) memiliki tegangan sisa yang sangat besar sehingga kekerasannya pun sangat tinggi namun sangat getas. Dibawah mikroskop, struktur *BCT* yang dinamakan *martensite* (gambar 2.8) ini tampak

seperti jarum-jarum *martensite* (hitam) dan sisa *austenite* yang tidak bertransformasi (putih) sebagai latar belakang.



Gambar 2.7 Perubahan struktur kristal dari FCC menjadi BCT [5]



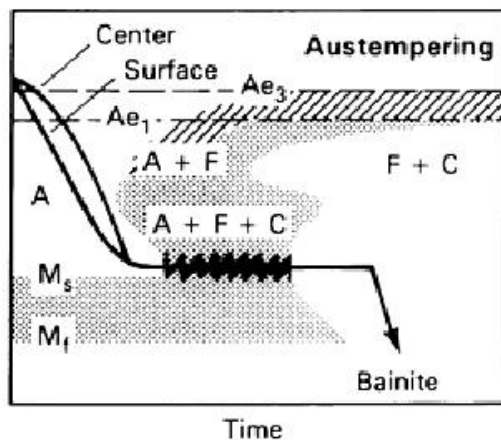
Gambar 2.8 Struktur martensit pada baja AISI 4340 [1]

Jumlah *martensite* yang terbentuk dari *austenite* tidak tergantung terhadap waktu, melainkan terhadap temperatur. *Martensite* mulai terbentuk pada proses pendinginan cepat ketika temperatur baja mencapai M_s dan semua *austenite* akan bertransformasi menjadi *martensite* ketika mencapai temperatur M_f . Penahanan pada temperatur antara M_s dan M_f tidak akan meningkatkan jumlah *austenite* yang bertransformasi menjadi *martensite*.

2.3.2 Proses *Austempering*

Austempering adalah transformasi pada *ferrous alloy* pada temperatur diatas pebentukan *martensite* dan dibawah temperatur pembentukan *pearlite* [6]. *Austempering* dapat diterapkan untuk beberapa kelas baja kekuatan tinggi yang harus memiliki ketangguhan dan keuletan tertentu. Komponen yang mengalami proses ini akan memiliki ketangguhan yang lebih tinggi, kekuatan impaknya menjadi lebih baik, batas lelehnya dan keuletannya meningkat dibanding dengan kekerasan yang sama hasil dari proses *quench* konvensional.

Austempering dilakukan dengan cara mendinginkan secara cepat baja dari temperatur austenisasinya ke dalam garam cair yang temperaturnya diatas temperatur pembentukan *martensite* dan dibawah temperatur pembentukan *pearlite* [6], kemudian ditahan hingga austenit berubah menjadi bainit lalu didinginkan diudara (Gambar 2.9). *Austempering* dilaksanakan dalam tungku garam agar pengontrolan temperaturnya dapat dilakukan dengan cermat sehingga kekerasan yang akan dihasilkannya memiliki tingkat kehomogenan yang tinggi. Jika temperatur tungku garam makin rendah, kapasitas pendinginannya akan semakin tinggi.

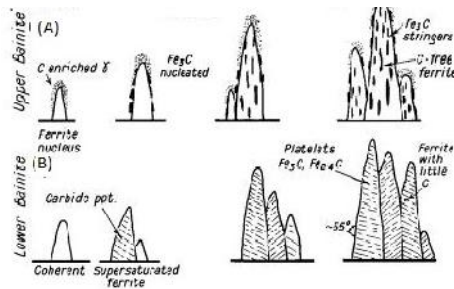


Gambar 2.9 I-T diagram dengan kurva proses *austempering* [6]

Keterangan **gambar 2.9** :

1. A : *Austenite*
2. F : *Ferite*
3. C : *Cementite (Fe_3C)*
4. Ms : *Martensite start*
5. Mf : *Martensite finish*

Pada temperatur dibawah hidung I-T diagram, suatu konstituen lain mulai terjadi yaitu bainit. Pada temperatur yang rendah ini austenit sudah jauh di bawah temperatur stabilnya, ia akan mengalami *driving force* yang besar untuk berubah dari *FCC* menjadi *BCC*. Karena *driving force* tersebut itu atom-atomnya akan tergeser sehingga menjadi *BCC*, terbentuk ferit. Karena terdapat banyak karbon sementara ferit tidak mampu melarutkan karbon, maka karbon akan berdifusi keluar dari ferit sebagai karbida, sementara itu austenit disekitar ferit akan berubah menjadi ferit, dan karbonnya berdifusi keluar, sehingga akan diperoleh suatu struktur berupa bilah-bilah ferit yang didalamnya terdapat platelet sementit dengan arah hampir sejajar dengan sumbu pertumbuhannya [8], struktur tersebut disebut bainit. Terdapat dua jenis bainit, yaitu bainit atas dan bainit bawah. Pembentukan bainit atas dan bawah tergantung (gambar 2.10) dari temperatur penahanan yang dilakukan ketika proses *austempering*, temperatur pembentukan *lower bainite* berada lebih rendah dibanding temperatur pembentukan *upper bainite*.



Gambar 2.10 Tahapan pembentukan bainit atas dan bainit bawah

Ketahanan material terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi) dan indentasi merupakan definisi dari kekerasan [8]. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance), tetapi tidak semua material yang memiliki kekerasan tinggi juga memiliki ketahanan aus yang baik karena adanya pengaruh unsur paduan pada masing-masing material. Kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan, tetapi berbanding terbalik dengan keuletan dan ketangguhan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekerasan yaitu kadar karbon, unsur paduan, dan pelakuan panas. Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang terstandar untuk menguji kekerasan logam yaitu pengujian *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers*, dan *Micro vickers*.

Pada pengujian kekerasan *Rockwell*, angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode *Rockwell* dapat digunakan dua bentuk indenter, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan berbentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indenter, seperti tercantum pada tabel 2.3 pengujian ini banyak dilakukan karena pelaksanaannya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada dial mesin [11].

2.4 Kekerasan

Ketahanan material terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi) dan indentasi merupakan definisi dari kekerasan [8]. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance), tetapi tidak semua material yang memiliki kekerasan tinggi juga memiliki ketahanan aus yang baik karena adanya pengaruh unsur paduan pada masing-masing material. Kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan, tetapi berbanding terbalik dengan keuletan dan ketangguhan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekerasan yaitu kadar karbon, unsur paduan, dan pelakuan panas. Ada

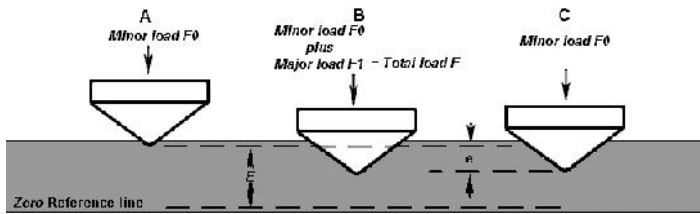
beberapa cara pengujian kekerasan yang terstandar untuk menguji kekerasan logam yaitu pengujian *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers*, dan *Micro vickers*.

Pada pengujian kekerasan *Rockwell*, angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode *Rockwell* dapat digunakan dua bentuk indenter, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan berbentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indenter, seperti tercantum pada tabel 2.3 pengujian ini banyak dilakukan karena pelaksanaannya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada dial mesin [11].

Tabel 2.3 Skala Rockwell Hardness [4]

<i>Scale Symbol</i>	<i>Indenter</i>	<i>Major Load (kg)</i>
A	Diamond	60
B	$\frac{1}{16}$ -in. ball	100
C	Diamond	150
D	Diamond	100
E	$\frac{1}{8}$ -in. ball	100
F	$\frac{1}{16}$ -in. ball	60
G	$\frac{1}{16}$ -in. ball	150
H	$\frac{1}{8}$ -in. ball	60
K	$\frac{1}{8}$ -in. ball	150

Secara umum pengujian kekerasan *Rockwell* dilakukan dengan melakukan indenter dengan beban awal 10 kg, jarum penunjuk diset pada angka nol skala hitam, kemudian beban mayor diberikan. Cara kerja ini secara skematik ditunjukkan pada gambar 2.11.

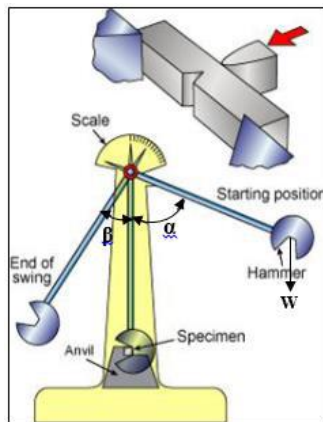


Gambar 2.11 Skema pengujian kekerasan [11]

2.5 Ketangguhan

Kemampuan menyerap energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan merupakan definisi dari ketangguhan. Tiga faktor utama yang mempengaruhi hasil pengujian impact yaitu tegangan triaxial (bentuk dan dimensi *notch*), temperatur dan laju peregangan (kecepatan pembebanan).

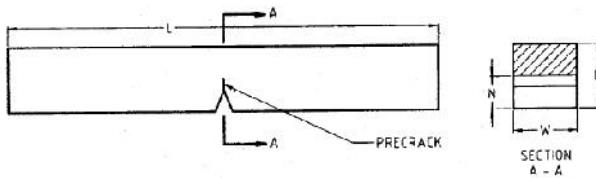
Untuk mengetahui ketangguhan benda jika dikenai beban kejut, maka dapat dilakukan pengujian impact. Pada pengujian impact digunakan batang uji yang bertakik (*notch*) dan dipukul dengan sebuah bandul. Terdapat dua macam *standard* metode pengujian yang digunakan, yaitu metode *charpy* digunakan di Amerika dan negara-negara lain (gambar 2.12), dan metode *Izod* digunakan di Inggris [8].



Gambar 2.12 Pengujian impact *charpy*

Energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dapat langsung dilihat pada mesin uji *impact*. Kekuatan impak (*impact strength*) adalah ketahanan batang uji terhadap pukulan (*impact*) yang dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$IS = \frac{\text{Energi Impak}}{A} \quad [13]$$



Gambar 2.13 Skema pengujian kekerasan [11]

Dimana:

IS = *Impact Strength* (Joule / mm²)

L = Panjang spesimen (m)

W = Tebal sisa (m)

A = Luasan Patahan (mm²)
 = Tebal patahan x tebal sisa
 = $(D-N) \times (W)$

Luasan patahan ditunjukkan pada area yang diarsir pada gambar 2.12.

2.6 Uji Statistik

Uji statistik pada penelitian ini adalah uji *One Way Anova* untuk melihat apakah perubahan temperatur *austempering* memiliki pengaruh spesifik terhadap kekerasan.

Pada uji ini, temperatur merupakan variabel sedangkan kekerasan merupakan respon. Uji *One Way Anova* dilakukan untuk mendapatkan *p-value* dari sekelompok data. Selanjutnya nilai *p-value* ini akan dibandingkan dengan nilai α atau *level of significance* untuk mendapatkan hipotesis statistik dari data tersebut bahwa hipotesis diterima atau ditolak [12]. Nilai α didapatkan dari *confidence level*. *Confidence level* yang

digunakan pada uji ini adalah sebesar 95%. Sehingga nilai $\alpha = 100\% - 95\% = 5\%$ (0,05). Jika nilai $p > \alpha$ maka hipotesa awal (H_0) diterima. Dan sebaliknya jika $p < \alpha$ maka hipotesa awal (H_0) ditolak.

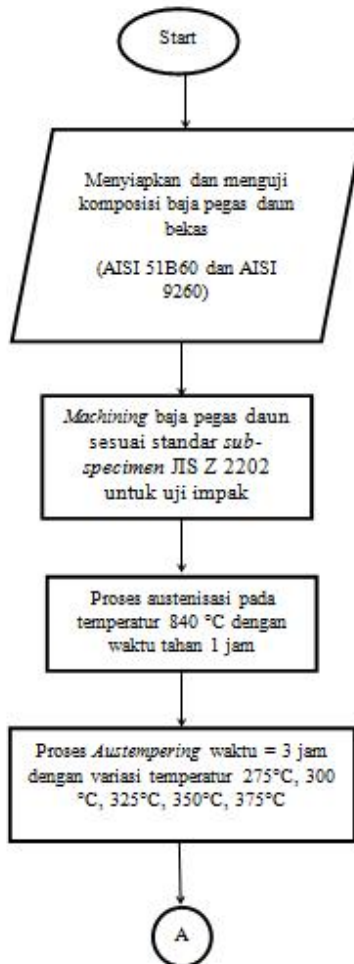
Terdapat dua hipotesis berbeda pada uji statistik ini, yaitu H_0 menyatakan tidak ada pengaruh perubahan temperatur terhadap data sedangkan H_1 menyatakan bahwa minimal terdapat salah satu temperatur yang berpengaruh terhadap data.

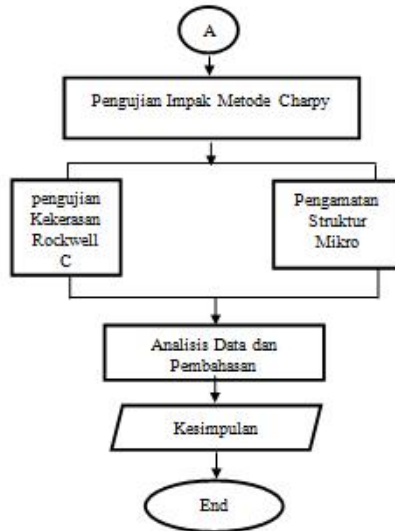
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Tahapan observasi yang dilaksanakan pada penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir (gambar 3. 1) :

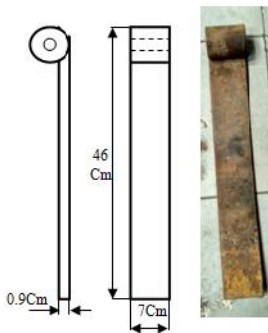




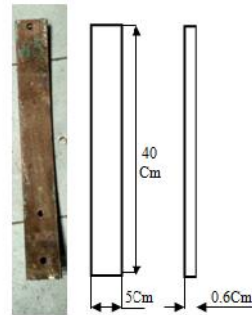
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Material

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah baja AISI 51B60 dan AISI 9260 bekas (gambar 3.2 a dan 3.2 b) memiliki panjang 460 mm, lebar 70 mm dan tebal 9 mm, dan 400 mm, lebar 50 mm, dan tebal 6 mm. Pengujian yang dilakukan pada material yaitu pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro, pengujian impak dan uji komposisi kimia. Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada tabel 3.1.



Gambar 3.2 a Baja AISI 51B60



Gambar 3.2 b Baja AISI 9260

Tabel 3.1 Tabel hasil pengujian komposisi kimia

Unsur kimia	Material 1 (% wt)	Material 2(% wt)
C	0,618	0,612
Si	0,236	1,32
Mn	0,675	0,86
P	0,0168	0,0287
S	0,0194	0,0203
Cr	0,846	0,386
Mo	0,0108	0,0226
V	0,0182	0,002
B	0,0012	0,0022

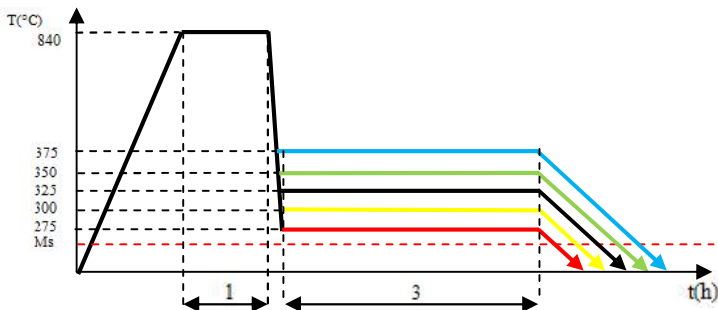
3.3 Proses Perlakuan Panas *Austempering*

Proses perlakuan panas *austempering* dimulai dengan pemanasan dalam dapur sampai temperatur austenisasi 840°C selama 1 jam, kemudian *quenching* pada spesimen dilakukan di dalam cairan *Salt bath* dengan variasi temperatur *austempering* 275°C, 300°C, 325°C, dan 350°C, 375°C dengan waktu tahan 3 jam. Media pendingin setelah proses *austempering* adalah udara. *Salt bath* yang digunakan disini merupakan campuran dari

NaNO_2 , KNO_3 , dan NaNO_3 dengan perbandingan komposisi 20 : 30 : 50.

Skema proses perlakuan panas *austempering* dapat dilihat pada gambar 3.3. Struktur mikro hasil proses perlakuan panas *austempering* diharapkan adalah *bainite*. Proses *austempering* dari baja AISI 51B60 dan AISI 9260 dimulai dari pemanasan spesimen uji di dalam dapur pemanas. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Spesimen terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran, karat dan minyak yang menempel.
2. Spesimen dimasukkan ke dalam dapur pemanas (gambar 3.4) dan dipanaskan sampai temperatur 840°C dan ditahan selama 1 jam (*holding time*).
3. Setelah itu spesimen dipanaskan kembali dengan cara dicelupkan pada *salt bath* (gambar 3.5) bertemperatur 275°C , 300°C , 325°C , 350°C , dan 375°C dengan waktu tahan 3 jam.
4. Proses akhir dari *austempering* ini mendinginkan spesimen ke udara ruangan.



Gambar 3.3 Skema perlakuan panas untuk *austempering*

1. Dapur pemanas (*furnace*) yang digunakan pada penelitian ini adalah dapur milik Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin FTI - ITS Surabaya dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merek : Naberthem B - 150

Daya : 5,5kW

Arus : 35 Ampere



Gambar 3.4 Dapur pemanas material (*Furnace*)

2. Dapur pemanas *salt bath* untuk proses *austempering* (*furnace*) yang digunakan pada penelitian ini adalah dapur milik Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin FTI - ITS Surabaya dengan spesifikasi sebagai berikut :

Daya : 12kW

Frekuensi : 50/60Hz

Input : 3 Fase



Gambar 3.5 Dapur pemanas (*Furnace*) *salt bath* untuk *austempering*

Saltbath yang dipakai untuk proses *austempering* adalah campuran Sodium Nitrit (NaNO_2), potasssium Nitrat (KNO_3), dan Sodium Nitrat (NaNO_3) yang memiliki komposisi 0.2 : 0.3 : 0.5. Campuran garam ini dapat dipakai pada kisaran 180°C - 450°C . Dalam penelitian ini *salt bath* berfungsi sebagai media pendingin pada proses *asutempering*. *Salt bath* digunakan untuk pendinginan dari temperatur austenisasi ke temperatur 275°C , 300°C , 325°C , 350°C , dan 375°C .

3.4 Pengujian

Untuk mendapatkan data-data dari penelitian ini dilakukan tiga pengujian yaitu pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro dan pengujian impak.

3.4.1 Pengujian Kekerasan

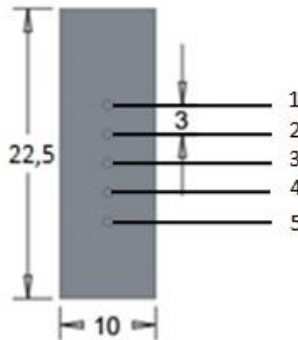
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari material awal dan material hasil proses perlakuan panas. Pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell c* mengikuti standar ASTM_E18-15. Mesin yang digunakan pada pengujian kekerasan yaitu mesin *rockwell* skala c (gambar 3.6) dengan indenter kerucut intan (*diamond cone*), mempunyai sudut puncak 120° dan menggunakan beban 150 kgf.



Gambar 3.6 Alat uji kekerasan Rockwell C

Prosedur pengujian kekerasan *rockwell* skala C :

1. Spesimen uji awal dan spesimen yang telah melalui proses perlakuan panas merupakan hasil patahan dari speimen uji impak gambar 3.7.
2. Spesimen uji dari metarial baja pegas-daun diampelas menggunakan kertas amplas *grit* 80-2000 pada mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3.8a).
3. Daerah permukaan spesimen uji baja dilakukan pemetaan lokasi indentasi tepat di bagian tengah dengan jarak antar titik indentasi adalah 3 mm.
4. Spesimen uji diletakkan pada mesin uji kekerasan *rockwell* skala c dan diberikan beban awal 10 kgf kemudian diberikan beban utama 150 kgf.
5. Nilai kekerasan dari spesimen uji langsung dapat dibaca pada jarum skala penunjuk dan dicatat hasilnya.



Gambar 3.7 Dimensi dan lokasi indentasi spesimen uji

3.4.2 Pengamatan Struktur Mikro

Dalam pengujian ini dibutuhkan peralatan yaitu mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3.8 a), dan mikroskop optik (gambar 3.8 b) serta perlengkapan lain yaitu asam nitrat (HNO_3), alkohol, kain bludru, serbuk alumina ,dan kertas gosok dengan *grit* 80 – 2000. Proses persiapan dari spesimen mengikuti standar

ASTM E3-11. Proses etsa menggunakan larutan nital. Proses etsa menggunakan standar ASTM E407.



(a)

(b)

Gambar 3.8 (a) Mesin *grinding* dan *polishing* (b) Mikroskop optik

Prosedur pengamatan struktur mikro :

1. Spesimen dari material baja pegas-daun bekas yang telah dipotong sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan (spesimen yang digunakan sama dengan spesimen uji kekerasan).
2. Spesimen uji diampelas menggunakan kertas amplas *grit* 80-2000 pada mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3.8 a).
3. Spesimen dipoles menggunakan kain bludru dan serbuk alumina hingga tidak ada goresan.
4. Spesimen dietsa menggunakan campuran 2% asam nitrat (HNO_3) dan 98% alkohol selama beberapa detik, lalu dicelup dengan alkohol, kemudian dicuci menggunakan air dan dikeringkan.
5. Spesimen diamati struktur mikro menggunakan mikroskop optik (gambar 3.8 b) dengan perbesaran 1000X.

3.4.3 Pengujian Impak

Pada penelitian ini dilakukan pengujian impak menggunakan mesin uji merk *frank* (gambar 3.9) dengan metode *charpy* dan

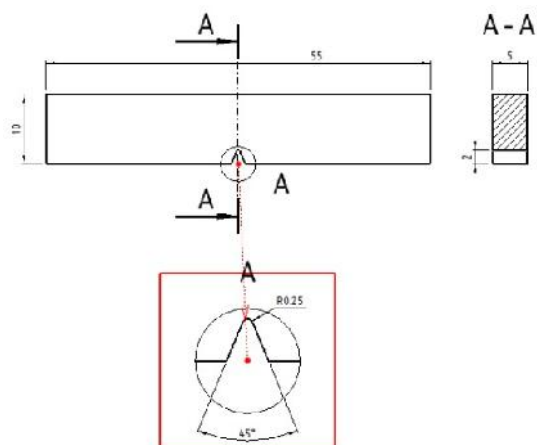
dilakukan pada temperatur kamar, spesimen diberi takikan *V-Notch*. Spesimen uji material awal dan perlakuan panas dipotong menggunakan wire-cut, kemudian dibentuk spesimen uji impak dengan standard *sub-specimen* JIS Z 2202 yang ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.9 Alat uji impak

Prosedur pengujian impak metode *Charpy* :

1. Baja bekas pegas-daun telah melalui proses perlakuan panas dilakukan *machining* sesuai dengan dimensi standar JIS Z 2202 (gambar 3.10).
2. Spesimen diletakkan pada landasan (*anvil*), bandul atau beban diangkat kemudian dilepaskan.
3. Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat.
4. *Impact strength* dihitung.



Gambar 3.10 Spesimen uji impak

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan pengumpulan data dilakukan pada spesimen baja bekas pegas daun yang telah melalui proses perlakuan panas. Data yang didapatkan dari pengujian yaitu nilai kekerasan, energi impact dan struktur mikro semua spesimen.

4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Mesin uji yang digunakan pada pengujian komposisi kimia adalah spektrometer. Perbandingan pengujian komposisi kimiadengan standar AISI dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2. Lembar pengujian asli dapat dilihat pada lampiran 1 dan lampiran 2 baja AISI 51B60 dan AISI 9260 [8] digunakan sebagai pembanding dari hasil pengujian komposisi kimia pada material 1 dan material 2.

Tabel 4.1 Pengujian komposisi kimia material 1 vs standar baja AISI 51B60

Unsur kimia	Material 1 (% wt)	AISI 51B60 (% wt)
C	0,618	0,56-0,64
Si	0,236	0,15-0,30
Mn	0,675	0,75-1,00
P	0,0168	0,035
S	0,0194	0,040
Cr	0,846	0,70-0,90
Mo	0,0108	-
V	0,0182	-
B	0,0012	0,0005-0,003

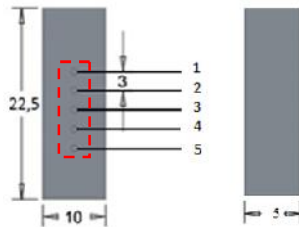
Tabel 4.2 Pengujian komposisi kimia material 2 vs standar baja AISI 9260

Unsur kimia	Material 1 (% wt)	AISI 51B60 (% wt)
C	0,612	0,56-0,64
Si	1,32	1,80-2,20
Mn	0,86	0,75-1,00
P	0,0287	0,035
S	0,0203	0,040
Cr	0,386	-
Mo	0,0226	-
V	0,002	-
B	0,0022	-

Dari hasil perbandingan (tabel 4.1 dan tabel 4.2) dapat diketahui bahwa komposisi kimia baja bekas pegas daun masuk dalam kisaran standar AISI 51B60 dan AISI 9260 [8], sehingga dapat disimpulkan bahwa baja bekas pegas daun termasuk AISI 51B60 dan AISI 9260.

4.2 Pengujian Kekerasan

Spesimen yang dilakukan pengujian kekerasan yaitu baja Aisi 51B60 dan Aisi 9260 bekas yang belum diberi perlakuan panas, material perlakuan panas *quenching*, dan material *austempering* dengan jumlah total 14 spesimen. Lokasi pengambilan data kekerasan terletak di bagian tengah penampang spesimen dan jarak tiap titik indentasi 3 mm. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 titik indentasi, pengujian kekerasan dilakukan pada penampang dan permukaan spesimen (gambar 4.1).



Gambar 4.1 Spesimen dan lokasi indentasi di permukaan (garis putus-putus merah)

4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Data hasil pengujian kekerasan permukaan baja Aisi 51B60 dan Aisi 9260 dituangkan pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Permukaan Spesimen baja AISI 51B60

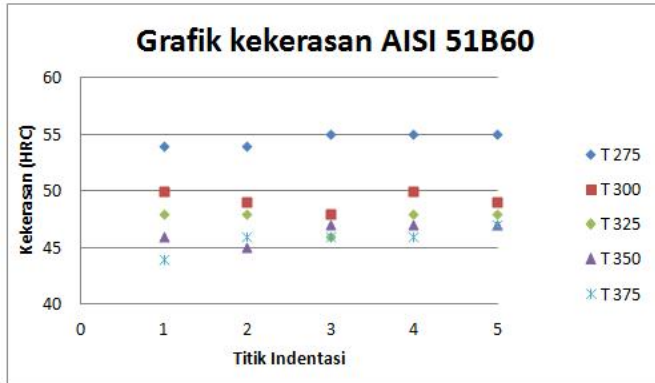
Kode	Spesimen	Kekerasan pada tiap titik indentasi (HRC)				
		1	2	3	4	5
B	AISI 51B60 Material Awal	45	45	44	45	45
H	AISI 51B60 Hardening	60	59	58	58	60
		Temp Aust (°C)				
T 275	Austempering 3 jam	275	54	54	55	55
T 300		300	50	49	48	50
T 325		325	48	48	46	48
T 350		350	46	45	47	47
T 375		375	44	46	46	47

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Permukaan Spesimen baja AISI 9260

No	Spesimen	Kekerasan pada tiap titik indentasi (HRC)				
		1	2	3	4	5
B	AISI 9260 Material Awal	47	46	47	45	48
H	AISI 9260 <i>Hardening</i>	60	60	60	60	59
		Temp Aust (°C)				
T 275	<i>Austempering 3 jam</i>	275	54	53	53	53
T 300		300	48	48	49	49
T 325		325	46	46	48	48
T 350		350	45	45	45	44
T 375		375	44	43	44	45

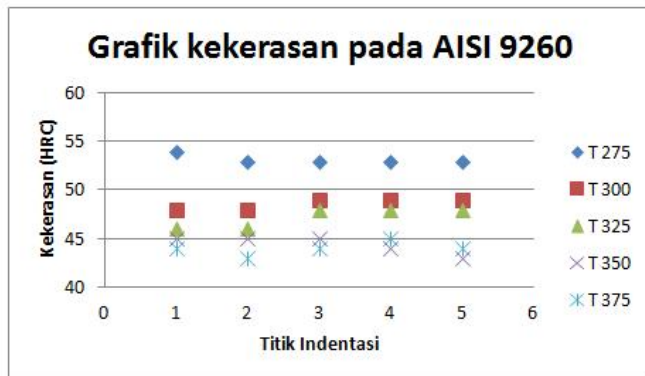
4.2.2 Analisis dan Pembahasan Data Pengujian Kekerasan

Dari data hasil pengujian dibuat grafik kekerasan permukaan spesimen yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Grafik kekerasan pada tiap titik indentasi baja AISI 51B60

Dari grafik gambar 4.2 menunjukkan nilai kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi spesimen. Nilai kekerasan baja Aisi 51B60 yang dihasilkan pada tiap titik indentasi berfluktuasi namun perbedaannya tidak terlalu besar.



Gambar 4.3 Grafik kekerasan pada tiap titik indentasi baja AISI 9260

Grafik gambar 4.3 menunjukkan nilai kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi spesimen. Nilai kekerasan permukaan baja Aisi 9260 juga mengalami fluktuasi terhadap lokasi titik

indentasinya. Perbedaan kekerasan material AISI 51B60 dan AISI 9260 tidak terlalu jauh, menunjukkan bahwa material baja pegas daun tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil kekerasan. Kisaran dan rerata kekerasan spesimen dapat dilihat pada tabel 4.5 dan tabel 4.6.

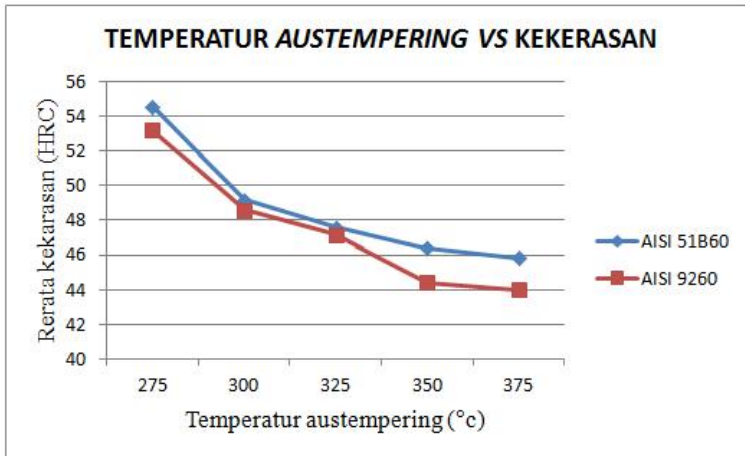
Tabel 4.5 Kisaran dan rerata kekerasan AISI 51B60

Kode	Spesimen	Kisaran Kekerasan (HRC)	Rerata Kekerasan (HRC)
B	Material Awal	44 - 45	44,8
H	Hardening	58 - 60	59
T 275	Aust 275°C	54 - 55	54,6
T 300	Aust 300°C	48 - 50	49,2
T 325	Aust 325°C	46 - 48	47,6
T 350	Aust 350°C	45 - 47	46,4
T 375	Aust 375°C	44 - 47	45,8

Tabel 4.6 Kisaran dan rerata kekerasan AISI 9260

Kode	Spesimen	Kisaran Kekerasan (HRC)	Rerata Kekerasan (HRC)
B	Material Awal	45 - 48	46,6
H	Hardening	59 - 60	59,8
T 275	Aust 275°C	53 - 54	53,2
T 300	Aust 300°C	47 - 49	48,6
T 325	Aust 325°C	46 - 48	47,2
T 350	Aust 350°C	43 - 45	44,4
T 375	Aust 375°C	43 - 45	44

Untuk melihat pengaruh temperatur *austempering* terhadap rerata kekerasan permukaan pada baja AISI 51B60 dan baja 9260, maka rerata kekerasan tersebut dituangkan pada grafik (gambar 4.4).



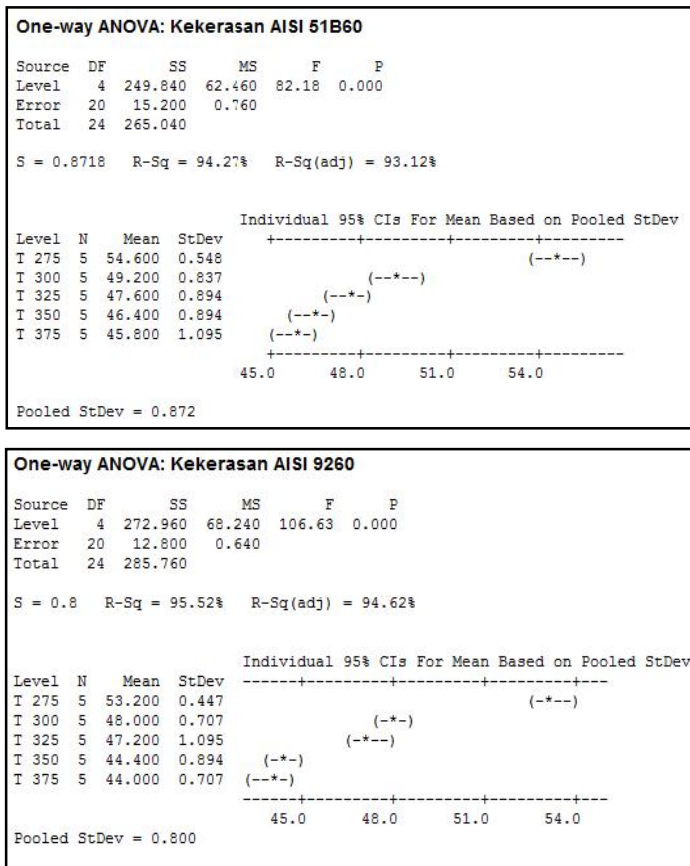
Gambar 4.4 Grafik temperatur *austempering* terhadap rerata kekerasan

Sebagai data pembandingan hasil kekerasan dari proses *austempering*, material AISI 51B60 dan AISI 9260 dilakukan *quenching*. Rerata kekerasan *quenching* material AISI 51B60 tidak jauh berbeda dengan rerata kekerasan *hardening* AISI 9260. Kisaran kekerasan permukaan material AISI 51B60 antara 58 – 60 HRC, sedangkan kekerasan material 9260 berada pada kisaran 59 – 60 HRC.

Proses perlakuan panas *austempering* selanjutnya dilakukan dengan waktu tahan 3 jam. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *austempering*, rerata kekerasannya justru menurun hal ini disebabkan oleh dekomposisi karbon dari asutinit semakin cepat terjadi sehingga tegangan sisa berkurang, tegangan sisa pada material sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan itu sendiri, semakin kecil tegangan sisa pada material maka nilai kekerasan akan kecil pula. Temperatur *austempering* terendah (275 °C) menunjukkan nilai rerata kekerasan terbesar pada material AISI 51B60 dan AISI 9260 yaitu 54,6 HRC dan 53,2 HRC. Nilai kekerasan terkecil pada material AISI 51B60

yaitu 45,8 HRC dan material AISI 9260 yaitu 44 HRC didapatkan dari temperatur *austempering* tertinggi (375 °C).

Untuk mengetahui apakah temperatur *austempering* berpengaruh signifikan terhadap rerata kekerasan permukaan pada material AISI 51B60 dan AISI 9260, maka dilakukan pengujian menggunakan metode statistik anova. Pengujian anova pada laporan penelitian ini menggunakan tingkat kepercayaan atau *Convident Level* (CL) sebesar 95%.



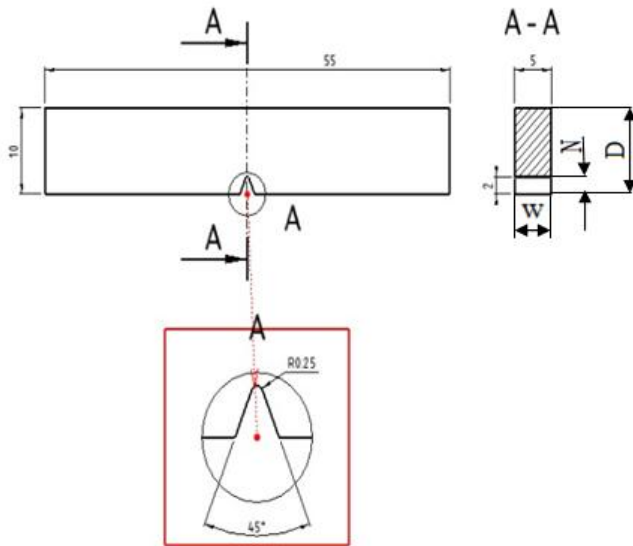
Dari hasil pengujian menggunakan metode *One-way* ANOVA didapatkan nilai tingkat signifikan (*P-value*) : 0%. Nilai tingkat signifikan (*P-value*) < 5%, sehingga dapat disimpulkan bahwa temperatur *austempering* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan permukaan baja AISI 51B60 dan AISI 9260. Semakin tinggi temperatur maka nilai kekerasan semakin turun hal ini dapat dilihat pada gambar 4.4.

4.3 Pengujian Impak

Beban yang digunakan pada pengujian impak metode *Charpy* sebesar 15 kg. Spesimen uji impak ditunjukkan pada gambar 4.5 dan dimensi spesimen dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.5 Spesimen uji impak



Gambar 4.6 Dimensi spesimen uji impact

4.3.1 Data Hasil Pengujian Impact

Dari pengujian diperoleh energi untuk mematahkan spesimen yang digunakan untuk menghitung *impact strength*. Persamaan di bawah ini digunakan untuk menghitung *impact strength*:

$$IS = \frac{\text{Energi Impact}}{A} \quad [13]$$

- Dimana :
 IS : *Impact Strength* (Joule / mm²)
 A : Luas Patahan Spesimen (mm²)
- Untuk mendapatkan luas patahan pada spesimen digunakan persamaan :
 $A = (D-N) \times W$

Data hasil pengujian impact ditampilkan pada tabel 4.7 dan tabel 4.8.

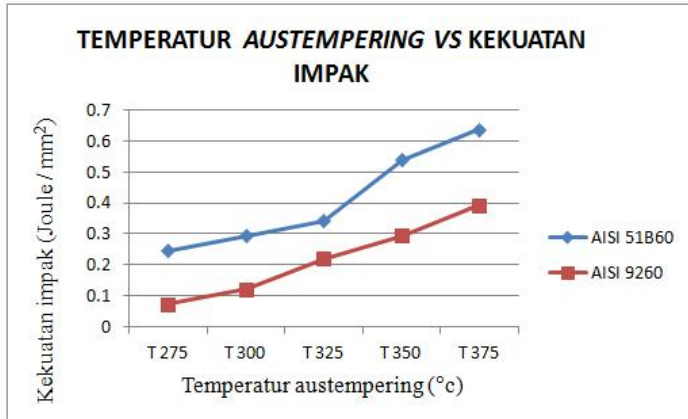
Tabel 4.7 Hasil pengujian impak material 51B60

No	Spesimen	Parameter				
		Energi, (E) J	Tebal patahan, (tp) mm	Tebal sisa patahan, (ts) mm	Impact strength (IS) J/mm2	
1	AISI 51B60 Material Awal	15.6906	8	-	0.392266	
2	AISI 51B60 Hardening	0.98067	8	-	0.024517	
		Temp Aust (°C)				
3	Austempering 3 jam	275	9.80665	8	-	0.245166
4		300	11.768	8	-	0.2942
5		325	13.7293	8	-	0.343233
6		350	21.5746	8	-	0.539366
7		375	25.4973	8	-	0.637432

Tabel 4.8 Hasil pengujian impak material 9260

No	Spesimen	Parameter				
		Energi, (E) J	Tebal patahan, (tp) mm	Tebal sisa patahan, (ts) mm	Impact strength, (IS) J/mm2	
1	AISI 9260 Material Awal	12.7486	8	-	0.318716	
2	AISI 9260 <i>Hardening</i>	0.98067	8	-	0.024517	
		Temp Aust (°C)				
3	<i>Austempering 3 jam</i>	275	2.942	8	-	0.07355
4		300	4.90333	8	-	0.122583
5		325	8.82599	8	-	0.22065
6		350	11.768	8	-	0.2942
7		375	15.6906	8	-	0.392266

Untuk melihat pengaruh temperatur *austempering* terhadap kekuatan impak pada baja AISI 51B60 dan baja 9260, maka hasil kekuatan impak tersebut dituangkan pada grafik (gambar 4.7).



Gambar 4.7 Grafik temperatur *austempering* terhadap kekuatan impak





4.3.2 Analisis dan Pembahasan Pengujian Impak

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa temperatur *austempering* mempengaruhi hasil dari kekuatan impak, semakin tinggi temperatur *austempering* semakin tinggi pula kekuatannya, hal ini dipengaruhi oleh tegangan sisa yang semakin kecil seiring peningkatan temperatur *austempering*. Berbeda dengan hasil uji kekerasan, pada pengujian impak, kekuatan impak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara material AISI 51B60 dengan AISI 9260, dengan temperatur dan waktu penahanan yang sama nilai kekuatan impak pada material AISI 51B60 lebih besar jika dibandingkan dengan material AISI 9260, hal ini disebabkan oleh perbedaan presipitasi karbida besi yang terjadi pada saat proses *austempering*, material 51B60 lebih mudah dalam membentuk karbida besi dibandingkan dengan material 9260. Temperatur *austempering* (375°C) menghasilkan kekuatan terbesar yaitu 0.637432 J/mm² untuk material AISI 51B60 dan 0.392266 J/mm² untuk material AISI 9260. Sedangkan kekuatan impak terkecil yaitu 0.245166 J/mm² dan 0.07355 J/mm² untuk masing-masing material AISI 51B60 dan AISI 9260 dihasilkan dari temperatur *austempering* terendah (275°C).

Hasil pola patahan dapat dilihat pada tabel 4.9 dan tabel 4.10. Dari hasil pengamatan pola patahan pada material AISI 51B60 dan material AISI 9260 dapat dilihat bahwa pada material awal hasil patahannya berwarna abu-abu gelap, permukaan tidak rata, dan berserat, hal ini mengindikasikan pola patahan pada material awal AISI 51B60 dan AISI 9260 bersifat ulet. Pada proses perlakuan panas *quenching* hasil patahannya terang, permukaan rata, dan terdapat tekstur butiran, hal ini mengindikasikan pola patahan pada proses perlakuan panas *quenching* material AISI 51B60 dan AISI 9260 bersifat getas. Pada proses perlakuan panas *austempering* di setiap temperatur penahanannya memiliki pola patahan yang hampir sama yaitu berwarna abu-abu gelap, permukaan tidak rata, dan berserat hal ini mengindikasikan pola patahan pada material AISI 51B60 dan AISI 9260 setelah melalui proses *austempering* bersifat ulet.






Tabel 4.9 Pola patahan pengujian impak material 51B60

KODE	Spesimen		Pola patahan	Keterangan
B	AISI 51B60 Material Awal			Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.
H	AISI 51B60 Hardening			Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu terang, permukaan rata dan struktur berupa butiran, sehingga dapat dikatakan hasil patah getas.
		(°C)		
T 275	<i>Austempering</i>	275		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.

T 300		300		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.
T 325		325		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.
T 350		350		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.
T 375		375		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.

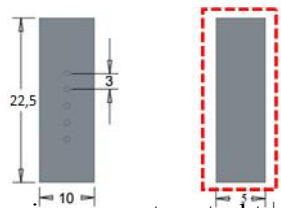
Tabel 4.10 Pola patahan pengujian impak material 51B60

Kode	Spesimen	Pola patahan	Keterangan
B	AISI 9260 Material Awal		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.
H	AISI 9260 Hardening		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu terang, permukaan rata dan struktur berupa butiran, sehingga dapat dikatakan hasil patah getas.

		(°C)		
T 275	<i>Austempering</i>	275		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.
T 300		300		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.
T 325		325		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.
T 350		350		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.
T 375		375		Dari gambar terlihat pola patahan berwarna abu-abu gelap, permukaan bergelombang, dan struktur berserat, sehingga dapat dikatakan hasil patah ulet.

4.4 Pengamatan Struktur Mikro

Lokasi pengamatan struktur mikro pada spesimen ditunjukkan pada gambar 4.8. Hasil pengamatan struktur mikro dituangkan pada tabel 4.11 dan tabel 4.12.



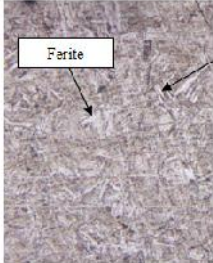
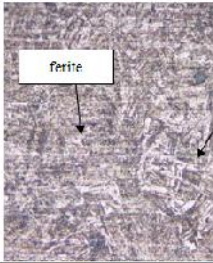
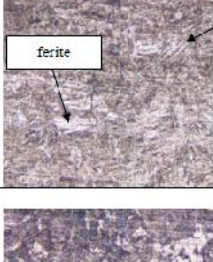
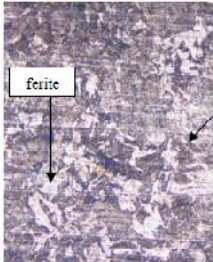
Gambar 4.8 Lokasi pengamatan struktur mikro (garis putus-putus merah)

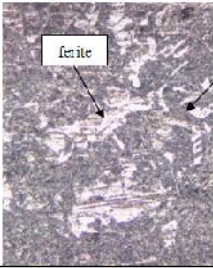
4.4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Didapatkan struktur mikro hasil pengamatan semua spesimen dan dituangkan pada tabel 4.11 dan tabel 4.12.

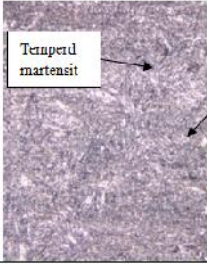
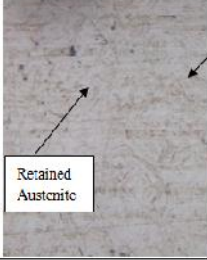
Tabel 4.11 Hasil struktur mikro baja AISI 51B60

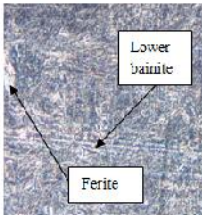
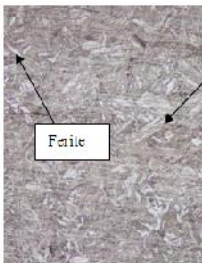


No	Spesimen	Struktur Mikro Perbesaran 1000x	Keterangan
1	<div>Temperd martensit</div> <div>AISI 51B60 Material Awal</div>		Tempered Martensite (gelap) dan Lower Bainite
2	<div>Retained austenite</div> <div>AISI 51B60 Hardening</div>		Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)

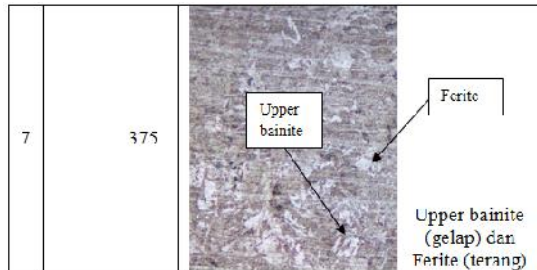
		°C		
3	Aus- temper ing	275	 <div data-bbox="519 341 609 389">Ferrite</div> <div data-bbox="732 341 822 389">Lower Bainite</div> <p>Lower bainite (gelap) dan Ferrite (terang)</p>	
4		300	 <div data-bbox="519 644 609 692">ferrite</div> <div data-bbox="732 644 822 692">Lower Bainite</div> <p>Lower bainite (gelap) dan Ferrite (terang)</p>	
5		325	 <div data-bbox="519 900 609 948">ferrite</div> <div data-bbox="732 868 822 916">Lower Bainite</div> <p>Lower bainite (gelap) dan Ferrite (terang)</p>	
6		350	 <div data-bbox="519 1139 609 1187">ferrite</div> <div data-bbox="732 1123 822 1171">Upper Bainite</div> <p>Upper bainite (gelap) dan Ferrite (terang)</p>	

7		375	 <p>Micrograph showing the microstructure of steel at 375x magnification. The image displays a mixture of ferrite (lighter, lath-like structures) and upper bainite (darker, more complex structures). Labels with arrows point to 'ferrite' and 'Upper Bainite'. A text box at the bottom right states 'Upper bainite (gelap) dan Ferrite (terang)'.</p>
---	--	-----	--

Tabel 4.12 Hasil struktur mikro baja AISI 9260

No	Spesimen	Struktur Mikro Perbesaran 1000x	Keterangan
1	AISI 9260 Material Awal	 <p>Micrograph of AISI 9260 material at 1000x magnification. The structure consists of tempered martensite (darker regions) and lower bainite (lighter regions). Labels with arrows point to 'Tempered martensit' and 'Lower Bainite'. A text box at the bottom right states 'Tempered Martensite (gelap) dan Lower Bainite'.</p>	
2	AISI 9260 Hardening	 <p>Micrograph of AISI 9260 material after hardening at 1000x magnification. The structure shows martensite (darker regions) and retained austenite (lighter regions). Labels with arrows point to 'Martensite' and 'Retained Austenite'. A text box at the bottom right states 'Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)'.</p>	

		°C		
3	Austempering	275	 <p>Lower bainite</p> <p>Ferrite</p>	Lower bainite (gelap) dan Ferrite (terang)
4		300	 <p>Ferrite</p> <p>Lower bainite</p>	Lower bainite (gelap) dan Ferrite (terang)
5		325	 <p>Lower bainite</p> <p>Ferrite</p>	Lower bainite (gelap) dan Ferrite (terang)
6		350	 <p>Upper bainite</p> <p>Ferrite</p>	Upper bainite (gelap) dan Ferrite (terang)



4.4.2 Analisis dan Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada tabel 4.11 dan 4.12 diketahui bahwa baja bekas pegas-daun memiliki struktur *tempered martensite* (gelap) dan *lower bainite* karena pembuatan pegas daun melalui proses *quench temper* pada temperatur *tempering* $>400^{\circ}\text{C}$. Temperatur *tempering* tersebut berada di atas temperatur *martensite start* AISI 51B60 dan AISI 9260 (262°C dan 267°C), sehingga terjadi perubahan austenit sisa menjadi *lower bainite*. Baja pegas daun yang telah melalui proses *hardening* memiliki struktur *martensite* (gelap) dan austenit sisa (terang). Terbentuknya austenit sisa dapat dijelaskan sebagai berikut, ketika spesimen baja bekas pegas daun dipanaskan mencapai temperatur 840°C dilanjutkan pendinginan cepat (*quenching*) hingga temperatur kamar, maka sebagian austenit berubah menjadi *martensite* dan sebagian lain menjadi austenit sisa karena transformasi 100% *martensite* tidak tercapai (*martensite finish* baja pegas AISI 51B60 dan AISI 9260 di bawah temperatur 0°C). Struktur mikro hasil *austempering* baja pegas daun yang diaustenisasi pada temperatur 840°C selama satu jam kemudian di *quench* dalam *salbath* pada variasi temperatur 275°C , 300°C , 325°C , 350°C , dan 375°C dan ditahan selama 3 jam adalah sebagai berikut; pada temperatur 275°C , 300°C , dan 325°C terbentuk *lower bainite* dan *ferrite*, kemudian pada temperatur 350°C dan 375°C terbentuk *upper bainite* dan *ferrite*. Terbentuknya struktur mikro *bainite* dapat dijelaskan sebagai berikut, Pada temperatur dibawah hidung I-T diagram, suatu

konstituen lain mulai terjadi yaitu bainit. Pada temperatur yang rendah ini austenit sudah jauh di bawah temperatur stabilnya, ia akan mengalami *driving force* yang besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC. Karena *driving force* tersebut itu atom-atomnya akan tergeser sehingga menjadi BCC, terbentuk ferit. Karena terdapat banyak karbon sementara ferit tidak mampu melarutkan karbon, maka karbon akan berdifusi keluar dari ferit sebagai karbida, sementara itu austenit disekitar ferit akan berubah menjadi ferit, dan karbonnya berdifusi keluar, sehingga akhirnya akan diperoleh suatu struktur berupa bilah-bilah ferit yang didalamnya terdapat platelet sementit dengan arah hampir sejajar dengan sumbu pertumbuhannya [8], struktur tersebut disebut bainit. Terdapat dua jenis bainit, yaitu bainit atas dan bainit bawah. Pembentukan bainit atas dan bawah tergantung dari temperatur penahanan yang dilakukan ketika proses *austempering*, temperatur pembentukan *lower bainite* berada lebih rendah dibanding temperatur pembentukan *upper bainite*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian setelah proses pengambilan dan analisis data pengaruh temperatur *austempering* terhadap kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro baja AISI 51B60 dan baja AISI 9260 adalah :

1. Nilai kekerasan pegas daun semakin turun seiring meningkatnya temperatur *austempering*. Temperatur *austempering* paling rendah 275°C menghasilkan kekerasan rerata tertinggi yaitu 54,6 HRC untuk material AISI 51B60, begitu pula pada material AISI 9260 rerata kekerasan tertinggi sebesar 53,2 HRC terjadi pada temperatur 275°C.
2. Nilai *impact strength* baja pegas daun meningkat seiring bertambahnya temperatur. *Impact strength* terbesar didapatkan dari temperatur *austempering* tertinggi (375°C) yaitu 0,637432 J/mm² untuk material AISI 51B60, sedangkan temperatur *austempering* tertinggi (375°C) menghasilkan *impact strength* terbesar yaitu 0,392266 J/mm² untuk material AISI 9260. Dengan temperatur dan waktu tahan proses *austempering* yang sama, nilai kekuatan impak material AISI 51B60 lebih besar dibandingkan dengan material AISI 9260.
3. Struktur mikro baja pegas daun yang dihasilkan dari perlakuan panas *austempering* terhadap material AISI 51B60 dan AISI 9260 yaitu *lower bainite* dan *ferrite* pada temperatur 275°C , 300°C, dan 325°C sementara pada temperatur 350°C dan 375°C terbentuk *upper bainite* dan *ferrite*.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat diperdalam untuk melihat ketahanan aus dan ketahanan korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook Vol. 1. 2005. *Properties and Selection : Irons, Steels and High Performance Alloys*. USA : ASM International.
- [2] Yoshiro Yamada. 2007. *Materials for Spring*. New York : Springer.
- [3] S. H. Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, 2nd.: McGraw Hill, 1974.J.
- [4] William.D.Callister.Jr. 2007. *Material Science and EGINEERING*.8th.USA : John Willey & Sons.
- [5] Thelning, K.E.,”*Steel and Its Heat Treatment*, 2nd”, Butterworths, London, 1984
- [6] ASM Handbook Vol.4. 1991. *Heat Treating*. USA : ASM International
- [7] ASM Handbook 2nded “*Heat Treater’s Guide: Practice and Procedures for Irons and Steels*”, ASM International, 1995.
- [8] Wahid Suherman. 1987. *Diktat Pengetahuan Bahan*. Surabaya : Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [9] SAE J404
- [10] George Krauss, “Martensite in Steel: Strength and Structure,” *Material Science and Engineering*, A273 – 275, 40 – 57, 1999.

- [11] <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/rockwell.htm>
Jumat, 12 Mei 2017
- [12] Douglas C. Montgomery. 2013. *Design and Analysis of Experiments 8th*. USA : John Willey & Sons.
- [13] ASM Handbook Volume 8 “*Mechanical Testing and evaluation*”, ASM International, 2000.
- [14] Takeshi Suzuki, Yoshiki Ono, Goro Miyamoto, Tadashi Fruhara. 2010. Effects of Si and Cr on Bainite Microstructure of medium carbon steel. Japan : Tohoku University and Nhk spring Co., Ltd.

BIODATA PENULIS



Adyan Rizkya Akbar merupakan nama lengkap dari penulis tugas akhir ini. Penulis yang lahir di kudas pada 8 Desember 1992. Penulis memulai pendidikan formal di SD Klaling 03, Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan di SMP N 1 Kudus dan lulus tahun 2008. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMA N 1 Kudus dan melanjutkan ke jenjang studi diploma tiga jurusan Teknik Mesin di Universitas Gadjah Mada hingga 2014. Selama menempuh jenjang diploma tiga, penulis mengambil bidang studi Manufaktur. Setelah lulus dari jenjang diploma tiga di Universitas Gadjah Mada, Pada tahun 2015 penulis melanjutkan dan menempuh pendidikan di Teknik Mesin FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil bidang studi Metallurgi khususnya pada laboratorium Teknik Cor.

LAMPIRAN 1

Lembar hasil pengujian komposisi kimia material 1 (51B60)



barata indonesia PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : 01

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Baja Pegas Daun Truck

Heat No :

Order No :

Lab. No : 08032017/000

Material :

Spektroanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	97,1	0,676	0,230	0,677	0,0207	0,0189	0,801	0,0119	0,0347
2	97,1	0,642	0,254	0,681	0,0158	0,0203	0,870	0,0104	0,0246
3	97,3	0,535	0,222	0,667	0,0139	0,0191	0,867	0,0101	0,0273
Ave	97,2	0,618	0,236	0,675	0,0168	0,0194	0,846	0,0108	0,0289

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0079	0,0198	0,209	0,0264	< 0,0010	0,0377	0,0147	< 0,0025	0,0111
2	0,0084	0,0037	0,142	< 0,0010	< 0,0010	0,0077	0,0140	< 0,0025	0,0168
3	0,0060	0,0163	0,126	0,0190	< 0,0010	0,0091	0,0115	< 0,0025	0,0125
Ave	0,0075	0,0133	0,159	0,0151	< 0,0010	0,0182	0,0134	< 0,0025	0,0135

	B	Ca	Zr	Bi	As	H	Sb
1	0,0015	0,0034	0,0148	< 0,0050	0,0122	0,0109	< 0,0030
2	0,0011	0,0056	0,0089	0,0203	0,0108	0,0752	< 0,0030
3	0,0011	0,0016	< 0,0015	0,0159	0,0112	0,0425	< 0,0030
Ave	0,0012	0,0036	0,0079	0,0134	0,0114	0,0429	< 0,0030

Town
Gresik - Jatim

Date
08/03/2017

Tester
Agung Setiawan

QC. Manager
Ribut Setiawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

LAMPIRAN 2

Lembar hasil pengujian komposisi kimia material 2 (AISI 9260)



barata indonesia PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : 03

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Baja Pegas Daun Tessa

Heat No :

Order No :

Lab. No : 08032017/000

Material :

Spektralanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W
1	95,2	0,589	1,44	0,875	0,0300	0,0200	0,401	0,0262	0,0367
2	95,3	0,659	1,25	0,862	0,0272	0,0157	0,389	0,0187	0,0332
3	95,4	0,589	1,25	0,851	0,0290	0,0213	0,367	0,0208	0,0318
Ave	95,3	0,612	1,32	0,860	0,0287	0,0203	0,386	0,0226	0,0369

	Al	Co	Cu	Ni	Ti	V	Nb	Zr	Sn
1	0,0328	0,0197	0,117	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0422	0,0042	0,0397
2	0,0383	0,0100	0,105	< 0,0010	0,0214	0,0060	0,0226	< 0,0025	0,0385
3	0,0338	0,0079	0,142	< 0,0010	0,0018	< 0,0010	0,0437	0,0058	0,0437
Ave	0,0333	0,0125	0,138	< 0,0010	0,0044	0,0020	0,0362	0,0041	0,0404

	B	Ca	Zr	Bi	As	H	Sb
1	0,0019	0,0019	0,0031	< 0,0050	0,0118	0,0315	< 0,0030
2	0,0026	0,0033	0,0032	< 0,0050	0,0072	0,0531	< 0,0030
3	0,0023	0,0018	0,0150	< 0,0050	0,0113	0,0750	< 0,0030
Ave	0,0022	0,0033	0,0071	< 0,0050	0,0102	0,0539	< 0,0030

Town
Gresik - Jatim

Date
08/03/2017

Tester
Agung Setiawan

QC. Manager
Rizki Setiawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp: (031) 3990555 Fax: (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id